



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2012

Verstehen und Behandeln von Rechenstörungen

Kucian, Karin ; von Aster, Michael G

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-66114>
Conference or Workshop Item

Originally published at:

Kucian, Karin; von Aster, Michael G (2012). Verstehen und Behandeln von Rechenstörungen. In: 16. Tagung Verband Dyslexie Schweiz, UNI Irchel Zürich, 22 September 2012.

Verstehen und Behandeln von Rechenstörungen

Dr. sc. nat. Karin Kucian, CH-Zürich

Prof. Dr. Michael von Aster, D-Berlin & CH-Zürich

Was ist Dyskalkulie?

Definitionsgemäss ist Dyskalkulie eine spezifische Beeinträchtigung in der Entwicklung der Rechenleistungen, die nicht allein durch eine allgemeine Intelligenzminderung oder eine unangemessene Beschulung erklärbar ist.

Immer wiederkehrende schlechte Lernerfahrungen und Misserfolge im Mathematikunterricht können sich negativ auf das Selbstwertgefühl des Kindes auswirken und das Entstehen sekundärer psychischer Störungen begünstigen. Schulunlust und Schulangst sind oft beklagte Konsequenzen bei rechenschwachen Kindern (von Aster, 2001).

Die Prävalenzraten für Dyskalkulie reichen von 3 bis 14% (Shalev & von Aster, 2008). Diese grossen Schwankungen sind Folge von nicht einheitlich gebrauchten Diagnosekriterien, verschiedenen Testinstrumenten und unterschiedlichen Alterszeitpunkte bei der Diagnosestellung (Shalev, Auerbach, Manor, & Gross-Tsur, 2000). In einer deutsch-schweizerischen Studie wird eine Prävalenz von 6% berichtet (MG von Aster, Schweiter, & Weinhold Zulauf, 2007).

Kinder mit entwicklungsbedingter Dyskalkulie können ganz verschiedenartige Defizite im Bereich des Rechnens und des Umgangs mit Zahlen zeigen. Die ICD-10 (WHO, 2006) führt folgende Symptome auf: *„Es kommen vor: Ein Unvermögen, die bestimmten Rechenoperationen zugrunde liegenden Konzepte zu verstehen; ein Mangel im Verständnis mathematischer Ausdrücke oder Zeichen; ein Nichtwiedererkennen numerischer Symbole; eine Schwierigkeit, unsere Standartrechenschritte auszuführen; eine Schwierigkeit im Verständnis, welche Zahlen für das in Betracht kommende arithmetische Problem relevant sind; Schwierigkeiten, Zahlen in die richtige Reihenfolge zu bringen oder Dezimalstellen oder Symbole während des Rechenvorganges einzusetzen; mangelnder räumlicher Aufbau von Berechnungen; und eine Unfähigkeit, das Einmaleins befriedigend zu lernen“.*

Zudem zeigen Kinder mit Dyskalkulie meist ein nicht altersgemässes Zählwissen und verwenden beim Versuch ein arithmetisches Problem zu lösen oft unreife und fehleranfällige Strategien (Shalev & Gross-Tsur, 2001). Oftmals finden sich auch Defizite in der visuell-räumliche Wahrnehmung, im Arbeitgedächtnis und im semantischen Gedächtnis (Butterworth, 2005; MG von Aster & Shalev, 2007). Die Probleme verstärken sich, wenn zusätzliche Symptome in anderen Bereichen bestehen. Solche komorbiden Störungen sind häufig und treten bei etwa 2/3 der Kinder mit Dyskalkulie auf (Lewis, Hitch, & Walker, 1994; MG von Aster et al., 2007). Am häufigsten sind entwicklungsbedingte Dyslexie (Lese-Rechtschreibstörung) bei 17% und Störungen im Bereich der Aufmerksamkeits- und Aktivitätsregulation (ADHS) bei 26% aller dyskalkulischen Kinder (Gross-Tsur, Manor, & Shalev, 1996). Weitere komorbide Störungen sind visuell-räumliche und psychomotorische Defizite, aber auch verschiedene neurologische und neuropsychiatrische Erkrankungen (Shalev, 2004; MG von Aster et al., 2007).

Symptome der Dyskalkulie können in verschiedenen Stadien des Erlernens von Rechenfertigkeiten auftreten. Diese Stadien der Entwicklung zahlenverarbeitender Fähigkeiten können in einem Vier-Stufen-Modell veranschaulicht werden (von Aster & Shalev, 2007). Dieses Modell fasst die hierarchische Entwicklung numerischer Repräsentationen (Stufen 1-4) als neuroplastischen Prozess auf, der abhängig ist von der komplementären Reifung domänenübergreifender Denkwerkzeuge wie Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, aber auch Sprache und räumliche Vorstellung. In diesem Modell bilden frühe Fähigkeiten der Mengenerfassung und der darauf folgende Erwerb der sprachlichen

und arabischen Symbolisierungssysteme die Voraussetzung zur Bildung abstrakter mentaler Zahlenraumvorstellungen im beginnenden Schulalter. Die Repräsentationen von konkreter Anzahligkeit (Erkennen und Unterscheiden von Mengengröße; Stufe 1), von sprachlicher (Zahlwortsequenz, Zählen, arithmetische Zählstrategien; Stufe 2) und von visuell-arabischer Symbolisierung (räumlich-ordinale Sequenz, Stellenwertsystem; Stufe 3) verschmelzen in einem Prozess zunehmenden Verstehens und Automatisierens zu dem neuen kognitiven Werkzeug einer sich ausdehnenden abstrakten Zahlenraumvorstellung (mentaler Zahlenstrahl), die schätzendes Rechnen und arithmetisches Denken ermöglicht (Stufe 4). Mit dem Vier-Stufen-Modell lassen sich Voraussagen über Ursachen und Erscheinungsformen von Rechenstörungen machen. Dabei können verschiedene Ursachen zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Entwicklung das Entwicklungsziel, die Ausbildung mentaler Zahlenraumvorstellungen, behindern. Diese Ursachen können in genetischen Dispositionen ebenso begründet sein, wie etwa in epigenetisch vermittelten oder erworbenen Störungen verschiedener domänenübergreifender kognitiver Reifungsprozesse (visuell-räumliche und sprachliche Verarbeitung, Aufmerksamkeitskontrolle, Arbeitsgedächtnis, Motivation). Ursachen können aber auch in Besonderheiten der Lerngeschichte (kontextuelle Lerneffekte) oder auch in einem die Lernentwicklung behindernden spezifischen oder generalisierten Angsterleben begründet sein. Die Diagnostik muss daher immer neben den Aspekten der Zahlendomäne auch die Gesamtentwicklung des Kindes ins Blickfeld nehmen. So vielfältig also die Ursachen für Rechenstörungen sein können, so einheitlich bewirken sie nach den Vorhersagen dieses Modells eine Erschwerung der neuroplastischen Ausbildung von Zahlenraumvorstellungen.

<<hier Abbildung_1>>

Das dyskalkulische Gehirn

Ohne ein minimales Verständnis von Zahlen und von einfachen Rechenoperationen könnten wir uns im Alltag kaum zurechtfinden. Ob wir in einem Geschäft den Geldbeutel zücken und bezahlen, eine Telefonnummer wählen oder den Busfahrplan studieren, täglich werden wir mit Zahlen in unterschiedlichsten Sinnbezügen konfrontiert. Wie das Gehirn diese Zahlenflut bewältigt und welche kognitiven Prozesse daran beteiligt sind, wurde in den vergangenen Jahren mit zunehmender Intensität untersucht.

Ergebnisse bildgebender Studien haben gezeigt, dass bereits eine einfache Kopfrechenaufgabe wie $26 + 8 = ?$ für unser Gehirn eine hohe kognitive Herausforderung darstellt. Aus diesem Grund ist es nicht verwunderlich, dass wir ein ganzes Netzwerk von verschiedenen Gehirnarealen rekrutieren um zu Rechnen. Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Areale im Gehirn, welche wir für die Verarbeitung von Zahlen und Mengen aktivieren und mit welchen Funktionen diese Areale in Verbindung stehen.

<<hier Abbildung_2>>

Innerhalb dieses Netzwerks spielt eine Region im Scheitelhirn die wichtigste Rolle für unser Zahlenverständnis – der sogenannte Intraparietale Sulcus. Hier, sagt man, sitzt oder

entwickelt sich unser Zahlensinn, der uns ermöglicht Rechenergebnisse zu überschlagen und Mengen abzuschätzen. Es ist der Ort unserer mentalen Vorstellung eines Zahlenraums oder -strahls. In Abbildung 1 ist die Beschreibung dieser Kernregion für das Rechnen zusätzlich umrandet.

Was geschieht nun im Gehirn eines rechenschwachen Kindes? Bildgebende Studien weisen auf zerebrale Defizite bei dyskalkulischen Kindern in verschiedenen Bereichen hin. So wurden Unterschiede zwischen Kindern mit und ohne Dyskalkulie in der anatomischen Struktur des Gehirns und der Hirnfunktion, im neuronalen Metabolismus (Stoffwechsel), als auch in neuronalen zeitlichen Verarbeitungsprozessen gefunden (Kaufmann et al., 2009; Kucian et al., 2006; Kucian, Loenneker, Martin, & von Aster, 2011; Levy, Reis, & Grafman, 1999; Mussolin et al., 2010; Price, Holloway, Räsänen, Vesterinen, & Ansari, 2007; Soltész, Szucs, Dékány, Márkus, & Csépe, 2007). Die Mehrzahl dieser Studien deutet allerdings auf Entwicklungsdefizite in und um den Intraparietalen Sulcus hin. So zeigen zum Beispiel Kinder mit Dyskalkulie schwächere Hirnaktivität in dieser Region beim Rechnen. Im Gegensatz dazu, aktivieren Kinder mit Dyskalkulie Regionen im vorderen Bereich des Gehirns stärker. Diese Regionen im Stirnhirn sind jedoch weniger spezifisch für das Rechnen, vielmehr üben sie unterstützende Wirkung aus. Mit anderen Worten Kinder mit Dyskalkulie sind stärker von unterstützenden Funktionen abhängig um zu Rechnen als Kontrollkinder.

Neben den Defiziten in der Hirnaktivität, fanden sich auch Unterschiede in der Hirnstruktur im Bereich des Intraparietalen Sulcus. So weisen Kinder mit Dyskalkulie ein geringeres Volumen der Hirnrinde in diesem Areal auf und zudem scheinen die Fasern, welche diese Region mit anderen Teilen des Gehirns verbinden weniger effizient (Rotzer et al., 2008; Rykhlevskaia, Uddin, Kondos, & Menon, 2009).

Erfreulicherweise ist unser Gehirn ein äusserst plastisches Organ, welches sich ständig den äusseren Gegebenheiten anpasst. Durch Stimulation spezifischer Gehirnareale können diese gestärkt und kognitive Fähigkeiten verbessert werden. Dies ist auch der Fall bei Kindern mit Dyskalkulie. In einer Trainingsstudie, welche im Speziellen die Repräsentation des mentalen Zahlenstrahls fördert, konnten wir nachweisen, dass Kinder mit Dyskalkulie nach dem 5-wöchigen Training besser Rechnen konnten und sich ihre Zahlenraumvorstellung verbessert hat. Neben diesen Verhaltensfortschritten wurden auch entsprechende Veränderungen in den neuronalen Netzwerken für das Rechnen beobachtet. Nach dem Training zeigten die Kinder schwächere Hirnaktivität im Stirnhirn, welche unterstützende kognitive Funktionen prozessiert und eine Zunahme der Aktivität in rechenspezifischen Arealen wie dem Intraparietalen Sulcus. Durch gezieltes Training kommt es also zu einer automatisierteren neuronalen Verarbeitung von Zahlen (Kucian, Grond et al., 2011).

Calcularis – mit dem Computer der Dyskalkulie Rechnung tragen

Kinder die beim Erlernen der Mathematik hinter die vom Lehrplan gesetzte Erwartung zurückfallen, geraten im Unterricht unter Stress, entwickeln Leistungsängste, fallen weiter zurück und vermeiden aus Angst vor Misserfolg den Lerngegenstand. Die vielerorts verbreitete wettbewerbsorientierte Unterrichtskultur verstärkt diese Mechanismen noch. Die Lernvoraussetzungen die Schüler in die Schule mitbringen, die Muster ihrer Stärken und Schwächen sind höchst heterogen und verlangen nach Individualisierung hinsichtlich Lernwegen und Lerntempo. Dies können geeignete Computerprogramme bieten, obwohl Computer natürlich den Lehrer nicht ersetzen können. Seine berufliche Eignung, sein fachliches Wissen und pädagogisches Können bilden die Basis für eine positive Lernentwicklung, die sich nur innerhalb einer gelingenden Lehrer-Schülerbeziehung entfalten kann. Der Computer kann aber, und dies soll hier am Beispiel *Calcularis* gezeigt werden, ein geeignetes Hilfsmittel sein, wenn es darum geht, individuell und fein abgestimmt bestimmte Lernschritte zu initiieren und zu üben. Dabei ermöglicht der Computer entlang dem eigenen Lernfortschritt ein unmittelbares und positives Feedback, und er schirmt die Übungssituation

vor negativem sozialem Quervergleich ab. Dies ist besonders bedeutsam für Kinder mit Lernerschwerungen und Teilleistungsstörungen.

<<hier Abbildung_3>>

Calcularis ist ein computerbasiertes Lernprogramm für Kinder im Grundschulalter, die beim Rechnenlernen Schwierigkeiten haben. Es wurde an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Universitäts-Kinderspital Zürich und der Firma Dybuster entwickelt. Das Grundkonzept dieses Trainings basiert auf modernen entwicklungspsychologischen und neurowissenschaftlichen Konzepten der kognitiven Zahlenverarbeitung und des Rechnens.

Calcularis ist aus vielen verschiedenen Spielen zusammengesetzt, die sich in zwei Hauptbereiche untergliedern lassen. Der erste Bereich dient der Entwicklung und Festigung der verschiedenen Zahlenrepräsentationen und der Automatisierung von Übersetzungsprozessen zwischen ihnen. Der zweite Bereich befasst sich parallel dazu mit der Entwicklung des arithmetischen Operationsverständnisses und mit dem Aufbau arithmetischen Faktenwissens. Beide Bereiche sind hierarchisch nach grösser werdenden Zahlenräumen aufgebaut. Das bedeutet, dass sowohl das Zahlenwissen als auch die arithmetischen Fähigkeiten zuerst im kleinen Zahlenraum (0-10) beherrscht werden müssen, bevor die nächst größeren Zahlenräume (0-100 und 0-1000) erobert werden können. Am Beginn stehen Spiele, die die Erfassung sogenannter Vorläuferfähigkeiten und, wenn erforderlich, ihr Training ermöglichen. Hierbei geht es um das Erlernen, Veranschaulichen und Ausführen von Zählprozeduren und um das simultane Erfassen und Schätzen der Grösse von Mengen.

Calcularis nutzt die Möglichkeit multisensorischer Kodierungen. So werden zum besseren Verständnis des Stellenwertsystems die Einer, Zehner und Hunderter jeweils in verschiedenen Farben dargestellt. Zusätzlich wird jede Zahl als eine Komposition von Einer-, Zehner- und Hunderterblöcken angezeigt. Zum Aufbau und zur Festigung mentaler Zahlenraumvorstellungen wird die Position jeder Zahl ausserdem immer auf einem Zahlenstrahl dargestellt. Diese elementaren Merkmale finden sich in jedem Spiel des Lernprogramms wieder.

Eine weitere wichtige Komponente der Lernsoftware ist ihre Adaptivität, d.h. ihre Fähigkeit den Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellungen an jedes einzelne Kind individuell anzupassen. Dies macht es möglich unterschiedliche Vorwissensstrukturen, unterschiedliche Arten von Lernproblemen und unterschiedliche Lerntempi der Kinder differenziell und unmittelbar zu berücksichtigen. Eine solche Anpassung an den Lernstand des Kindes minimiert die Fehlerwahrscheinlichkeit, ohne dass das Kind gleichzeitig mit Aufgaben, die es schon beherrscht, gelangweilt wird. Um eine solche Adaptivität des Programms zu erreichen, wird das aktuelle Lern- und Fähigkeitsniveau des Kindes geschätzt und die entsprechenden Spiele präsentiert. Um die individuelle Anpassung an das Kind weiter zu optimieren, unterhält *Calcularis* auch eine Fehlerbibliothek mit typischen Fehlermustern, wie beispielsweise Zahlendrehern. Wird ein solches Fehlermuster erkannt, so wird dieses Problem gezielt adressiert und geübt.

Die Wirksamkeit von *Calcularis* wird wissenschaftlich evaluiert. Eine erste Benutzerstudie mit Kindern mit mathematischen Lernschwierigkeiten hat nun vielversprechende Ergebnisse gebracht. Bereits nach 6 Wochen Training zeigten die Kinder signifikante Leistungsverbesserungen in ihren arithmetischen Fertigkeiten. Die Kinder machten nicht nur weniger Fehler, sondern lösten die Aufgaben auch schneller. Die Effekte waren besonders

ausgeprägt beim Subtrahieren. Dies ist insofern interessant, weil bei der Subtraktion das zahlenräumliche Denken besonders gefordert ist und sich deshalb in diesem Ergebnis auch zeigt, dass das Training die Entwicklung der Zahlenraumvorstellung erfolgreich zu unterstützen scheint. Nach 12 Wochen konnte dies auch direkt in entsprechenden Testaufgaben nachgewiesen werden. Die Kinder konnten Zahlen zu ihren analogen Positionen auf einem Zahlenstrahl mit viel grösserer Genauigkeit zuordnen. Derzeit wird *Calcularis* in einer umfangreichen, vom Deutschen Bildungsministerium geförderten Trainingsstudie in Deutschland und der Schweiz weiter auf seine Wirksamkeit geprüft. Erste Ergebnisse zeigen bereits auch hier erfreuliche Effekte. Befragungen der Kinder und Eltern zeigen im Übrigen auch, dass die Kinder gern und motiviert mit *Calcularis* spielen und üben, und so bleibt zu erwarten, dass diese Art des Computerkonsums förderliche Effekte auf die Bildungsentwicklung entfalten möge [Textpassagen des letzten Abschnittes wurden in gekürzter Form aus von Aster et al. (2012) übernommen].

Literatur

- Butterworth, B. (2005): The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(1), 3-18.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996): Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 38(1), 25-33.
- Kaufmann, L., Vogel, S., Starke, M., Kremser, C., Schocke, M., & Wood, G. (2009): Developmental dyscalculia: compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic magnitudes. *Behavioral and Brain Functions*, 5(1), 35.
- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schonmann, C., Plangger, F., et al. (2011): Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 57(3), 782-795.
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E., & von Aster, M. (2006): Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 31.
- Kucian, K., Loenneker, T., Martin, E., & von Aster, M. (2011): Non-symbolic numerical distance effect in children with and without developmental dyscalculia: a parametric fMRI study. *Developmental neuropsychology*, 36(6), 741-762.
- Levy, L. M., Reis, I. L., & Grafman, J. (1999): Metabolic abnormalities detected by 1H-MRS in dyscalculia and dysgraphia. *Neurology*, 53(3), 639-641.
- Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994): The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35(2), 283-292.
- Mussolin, C., De Volder, A., Grandin, C., Schlogel, X., Nassogne, M. C., & Noel, M. P. (2010): Neural correlates of symbolic number comparison in developmental dyscalculia. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(5), 860-874.
- Price, G. R., Holloway, I., Räsänen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology*, 17(24), R1042-1043.
- Rotzer, S., Kucian, K., Martin, E., von Aster, M., Klaver, P., & Loenneker, T. (2008): Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 39(1), 417-422.
- Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L., & Menon, V. (2009): Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in human neuroscience*, 3, 51.
- Shalev, R. S. (2004): Developmental dyscalculia. *Journal of Child Neurology*, 19(10), 765-771.
- Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2000): Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 9 Suppl 2, II58-64.
- Shalev, R. S., & Gross-Tsur, V. (2001): Developmental dyscalculia. *Pediatric Neurology*, 24(5), 337-342.

- Shalev, R. S., & von Aster, M. (2008): Identification, classification, and prevalence of developmental dyscalculia. Encyclopedia of Language and Literacy Development, 1-9.
- Soltész, F., Szucs, D., Dékány, J., Márkus, A., & Csépe, V. (2007): A combined event-related potential and neuropsychological investigation of developmental dyscalculia. Neuroscience Letters, 417(2), 181-186.
- von Aster, M., Käser, T., Kucian, K., & Gross, M. (2012): Calcularis - Rechenschwäche mit dem Computer begegnen. Schweizerische Zeitschrift für Heilpädagogik, 6, 32-36.
- von Aster, M., Schweizer, M., & Weinhold Zulauf, M. (2007): Rechenstörungen bei Kindern: Vorläufer, Prävalenz und psychische Symptome. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 39(2), 85-96.
- von Aster, M., & Shalev, R. (2007): Number development and developmental dyscalculia. Developmental Medicine and Child Neurology, 49, 868-873.
- WHO (2006): ICD-10. Internationale Klassifikation psychischer Störungen; Kapitel V(F): Diagnostische Kriterien für Forschung und Praxis (4. ed.). Bern: Huber.

Kontaktadressen

Dr. sc. nat. Karin Kucian
Zentrum für MR-Forschung
Universitäts-Kinderspital
Steinwiesstrasse 75
CH 8032 Zürich
Telefon +41 (0)44 266 73 24
Email: karin.kucian@kispi.uzh.ch
Website: www.kispi.uzh.ch/mr

Prof. Dr. Michael von Aster
DRK-Kliniken Westend Berlin
Departement für Kinder- und Jugendpsychiatrie
Spandauer Damm 130
D 14050 Berlin
Telefon +49 (0) 30 3035 45 15
Email: m.aster@drk-kliniken-westend.de
Website: www.drk-kliniken-berlin.de